

A decorative background featuring a light blue gradient with a stylized circuit board pattern. The pattern consists of thin blue lines representing traces and small circles representing components, primarily concentrated along the left and right edges of the slide.

PODSTAWY ELEKTRONIKI

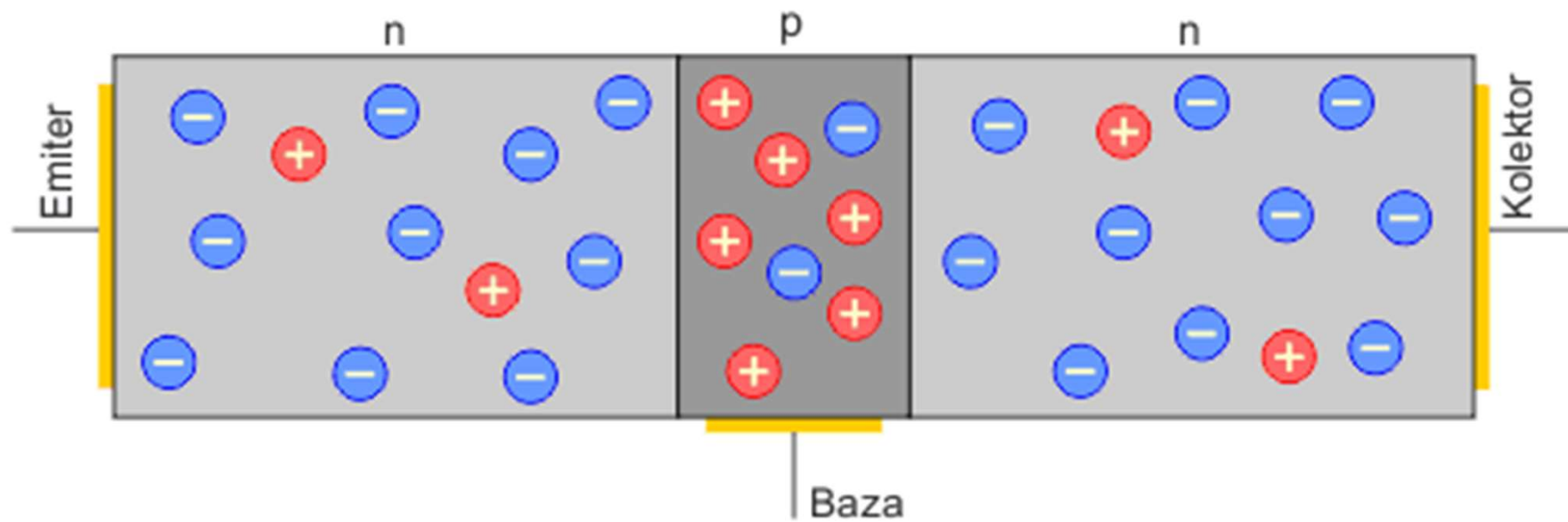
PLIK 4 – SEMESTR 2

DARIUSZ GRYZIO 2020/2021

TRANZYSTORY



TRANZYSTORY



TRANZYSTORY

Wyróżnia się dwie główne grupy tranzystorów, które różnią się zasadniczo zasadą działania:

Tranzystory bipolarne, w których prąd wyjściowy jest funkcją prądu wejściowego (sterowanie prądowe).

Tranzystory unipolarne (tranzystory polowe), w których prąd wyjściowy jest funkcją napięcia (sterowanie napięciowe).

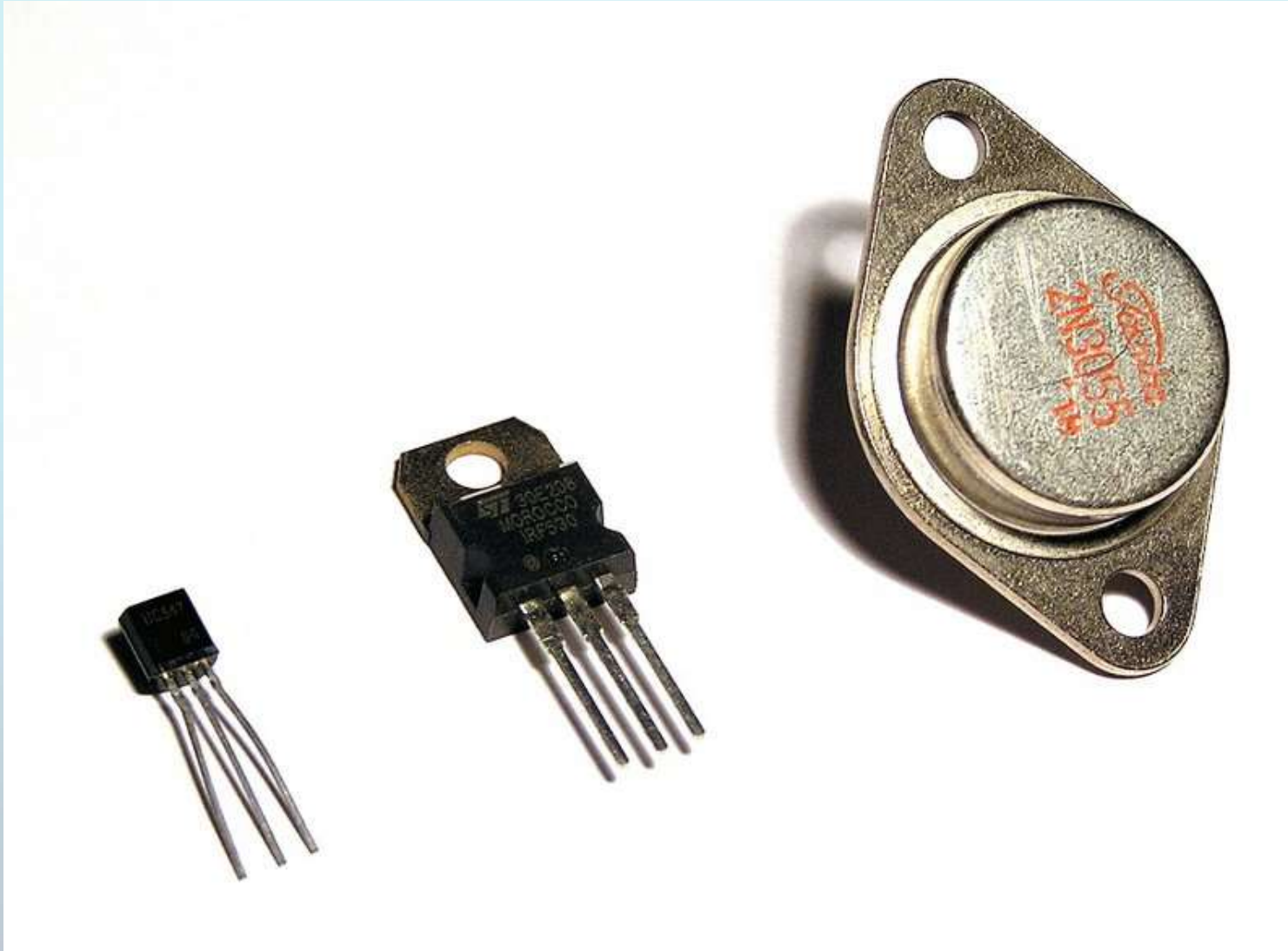
TRANZYSTORY - PODZIAŁ

Tranzystory bipolarne i unipolarne

**BIPOLARNE (BJT – Bipolar Junction Transistor) STEROWANE
PRĄDOWO,**

**UNIPOLARNE (FET – Field Effect Transistor) STEROWANE
POLEM ELEKTRYCZNYM**

TRANZYSTORY - PODZIAŁ



TRANZYSTORY - PODZIAŁ



Bipolarne:

1. NPN
2. PNP



Polowe:

1. PNFET
2. MOSFET

TRANZYSTORY - POCZĄTEK

Pierwszy tranzystor ostrzowy: grudzień 1947

Twórcy tranzystora
ostrzowego

John Bardeen

Walter Brattain

Przy mikroskopie szef
grupy: **William Bradford
Shockley** - twórca tran-
zystora złączowego



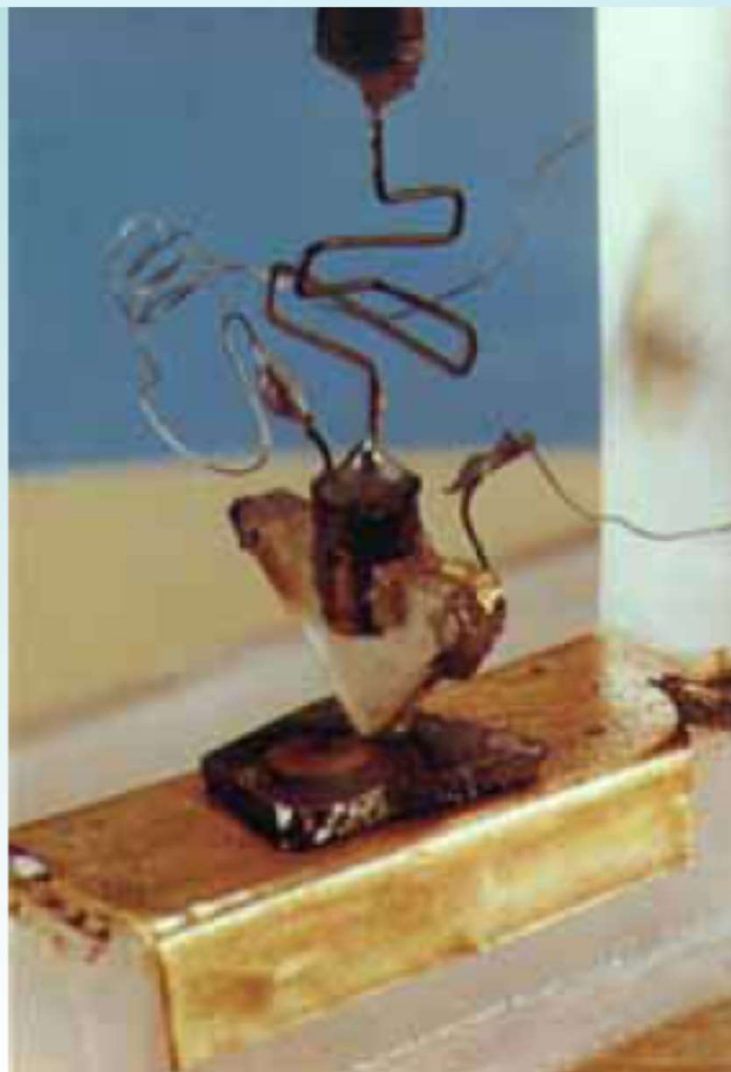
TRANZYSTORY - POCZĄTEK

Tranzystor ostrzowy

zadziałał 16 grudnia 1947

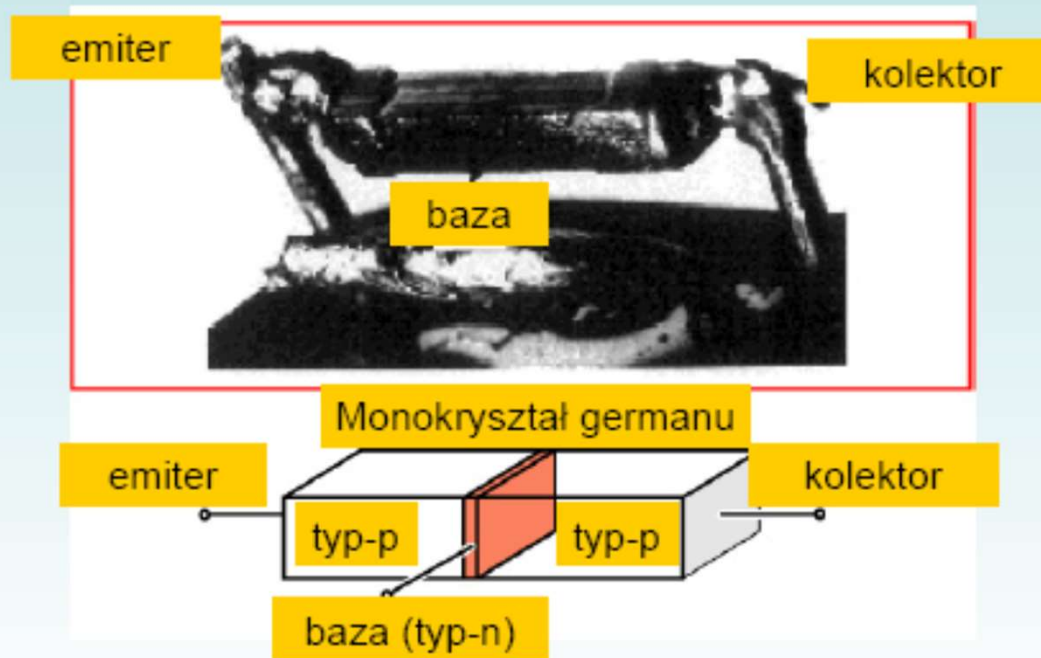
23 grudnia 1947

Pokaz dla kierownictwa
laboratorium

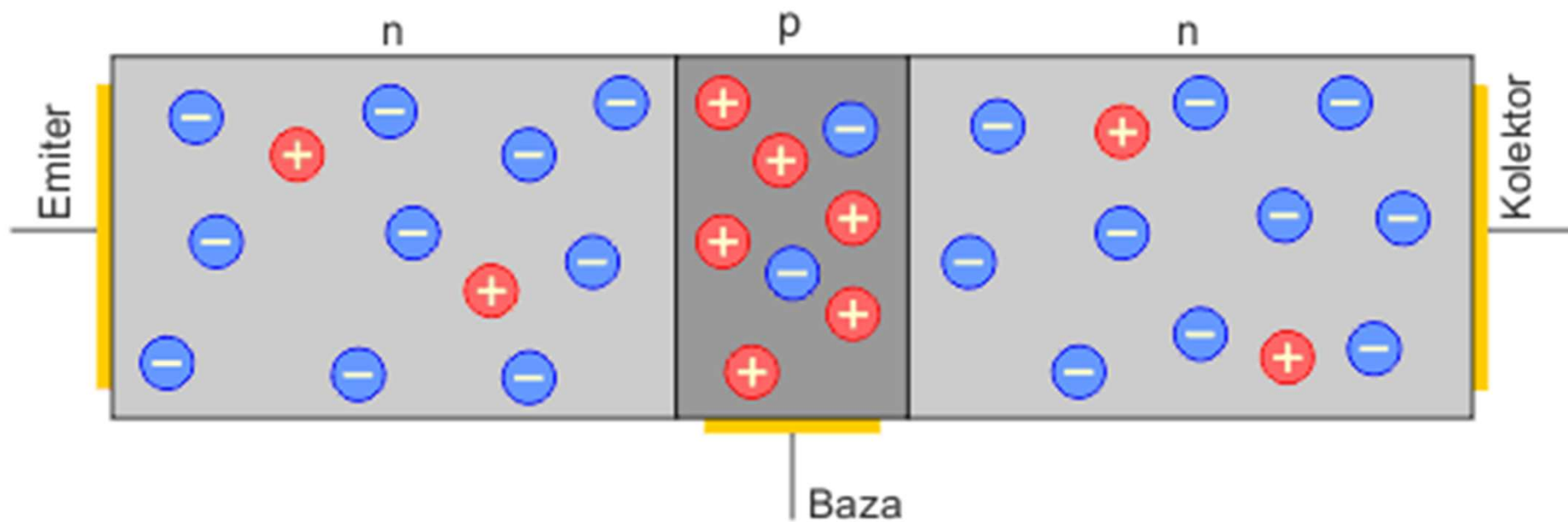


TRANZYSTORY - POCZĄTEK

Pierwszy tranzystor złączowy (wyciągany) Bell Laboratories 1950



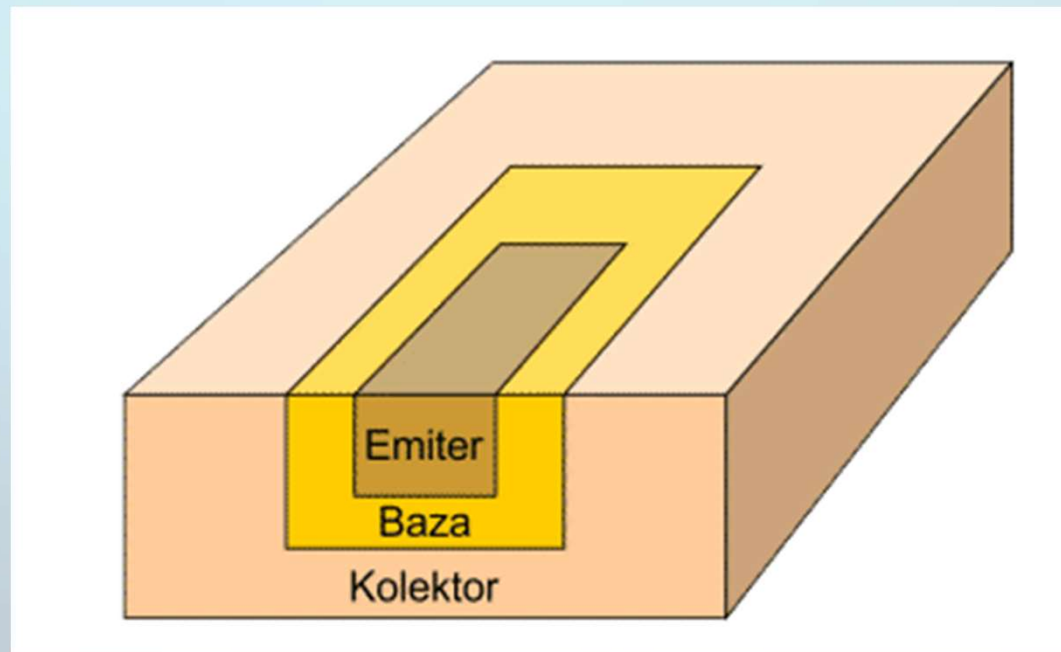
TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA



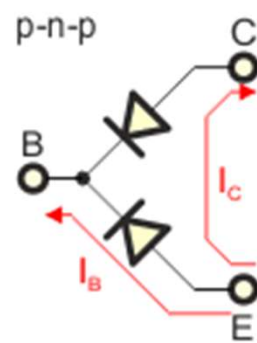
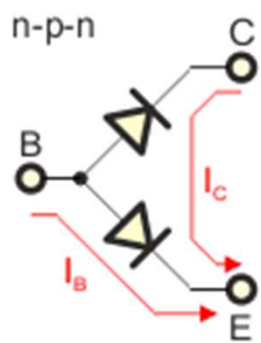
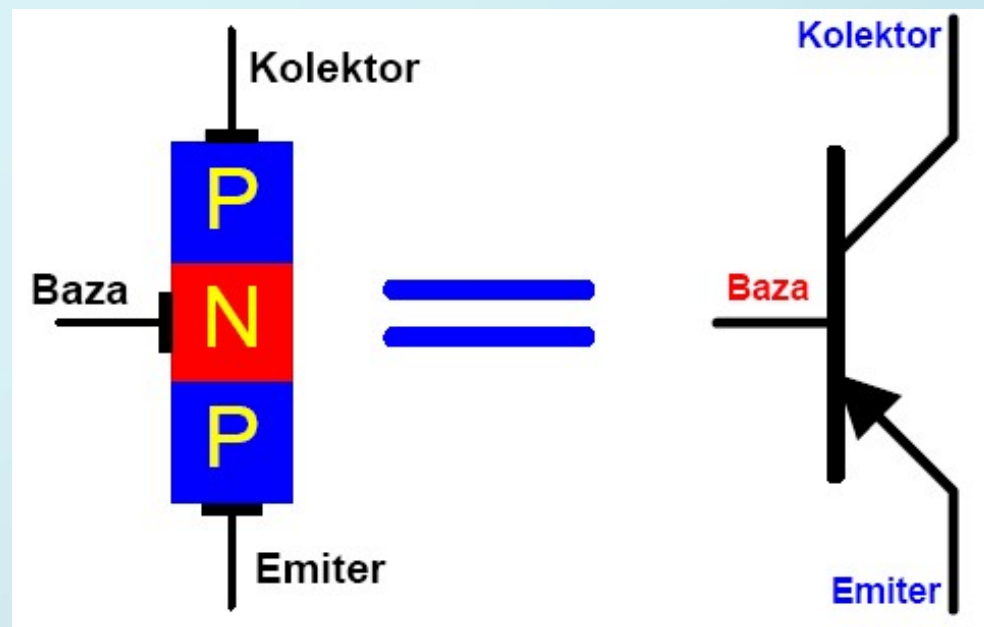
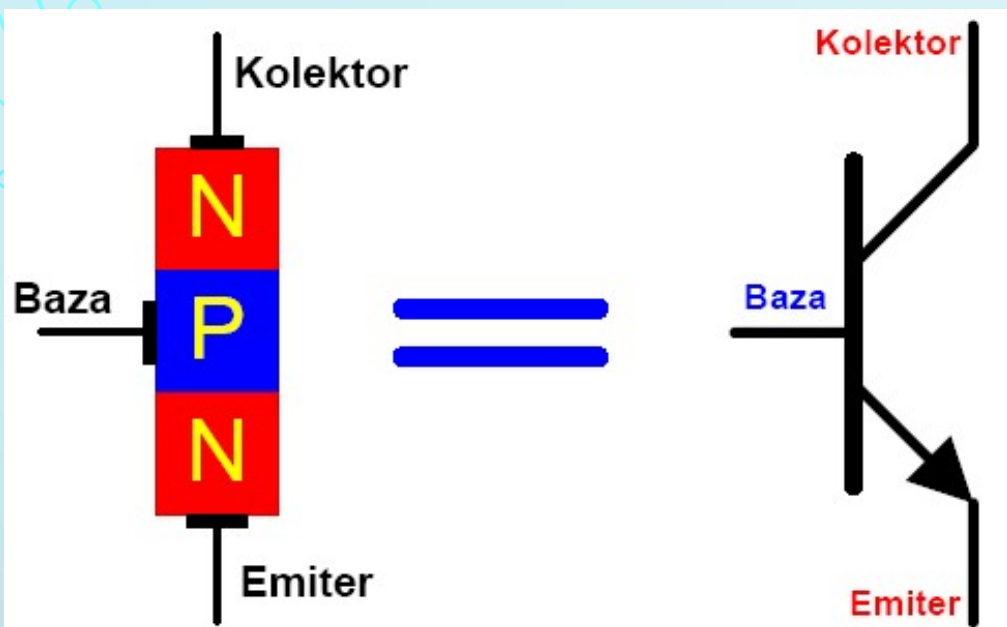
TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

Rysunek powyżej jest tylko rysunkiem poglądowym.

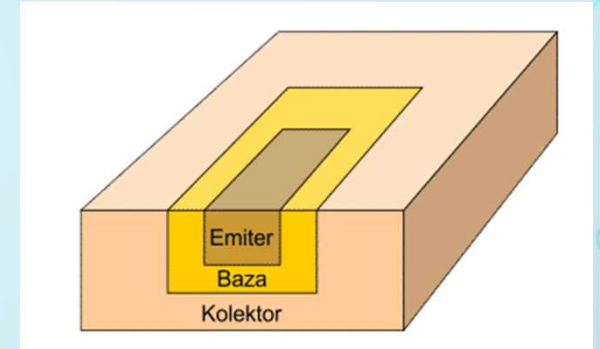
W rzeczywistym tranzystorze warstwy półprzewodnikowe wyglądają tak:



TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA



TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

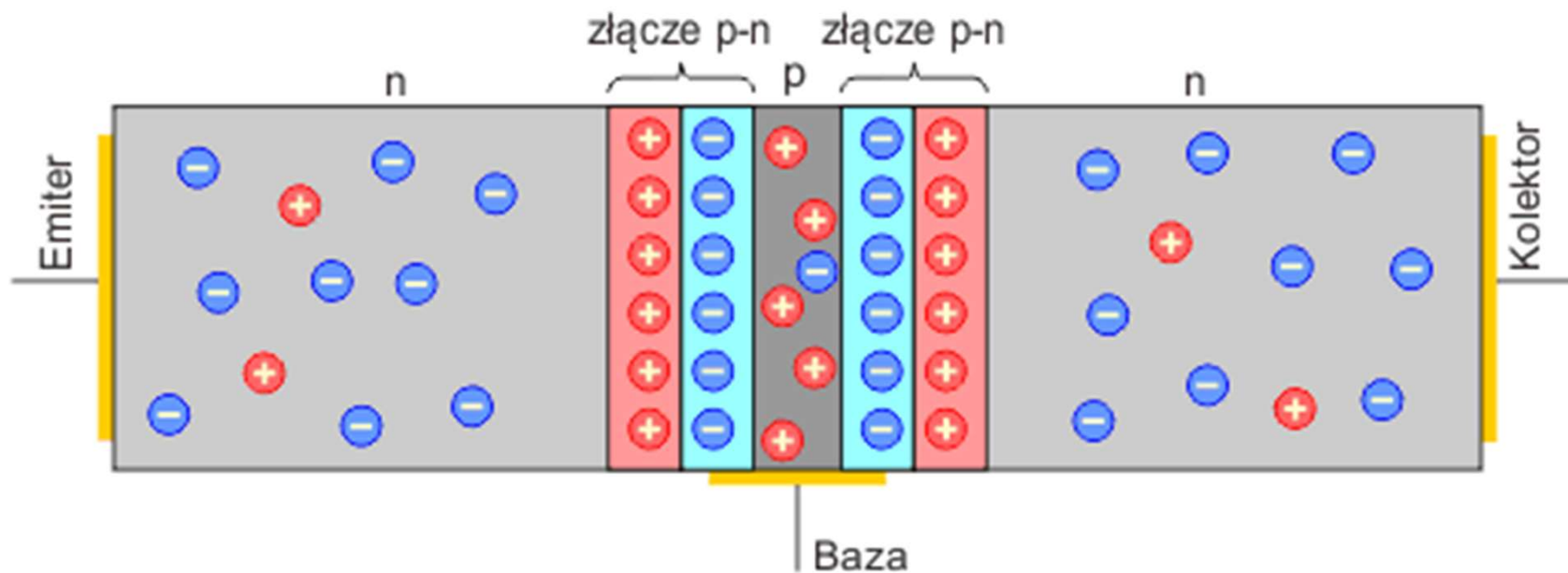


Elektrody tranzystora posiadają swoje nazwy, które odzwierciedlają ich funkcje:

- **E – Emiter** (ang. Emitter), wysyła ładunki elektryczne
- **B – Baza** (ang. Base), steruje przepływem ładunków
- **C – Kolektor** (ang. Collector), zbiera ładunki z emitera.

TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

Na styku warstw półprzewodnikowych powstają dwa złącza p-n i tworzy się na nich bariera potencjału:



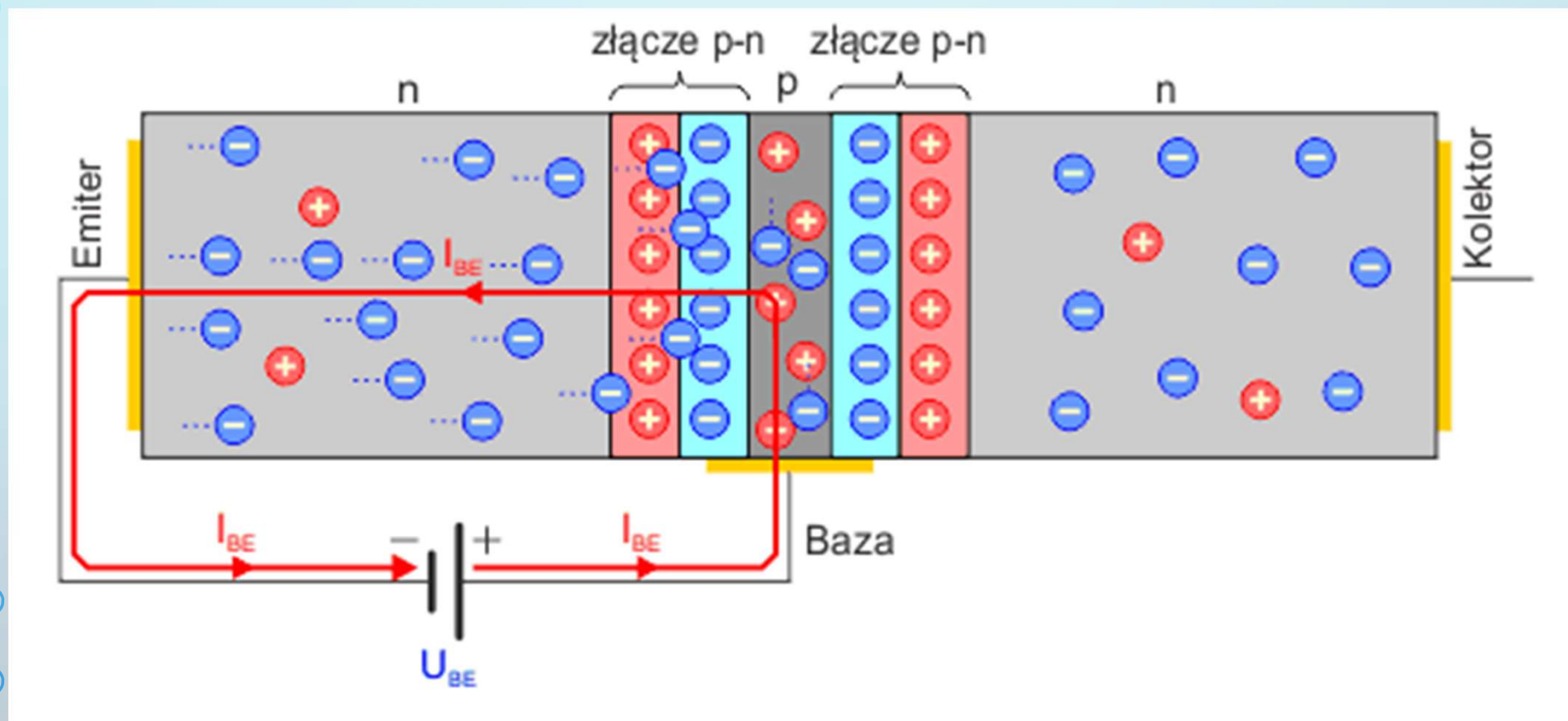
TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

Jeśli spolaryzujemy złącze baza-emiter w kierunku przewodzenia (baza będzie mieć potencjał wyższy od potencjału emitera) napięciem U_{BE} , to w obwodzie baza-emiter popłynie prąd elektryczny I_{BE} .

Elektrony, które są nośnikami większościowymi w półprzewodniku n emitera, przejdą przez barierę potencjału na złączu B-E i znajdą się w półprzewodniku p bazy.

Będą one przyciągane przez elektrodę Bazy, ponieważ posiada ona potencjał dodatni.

TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA



TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

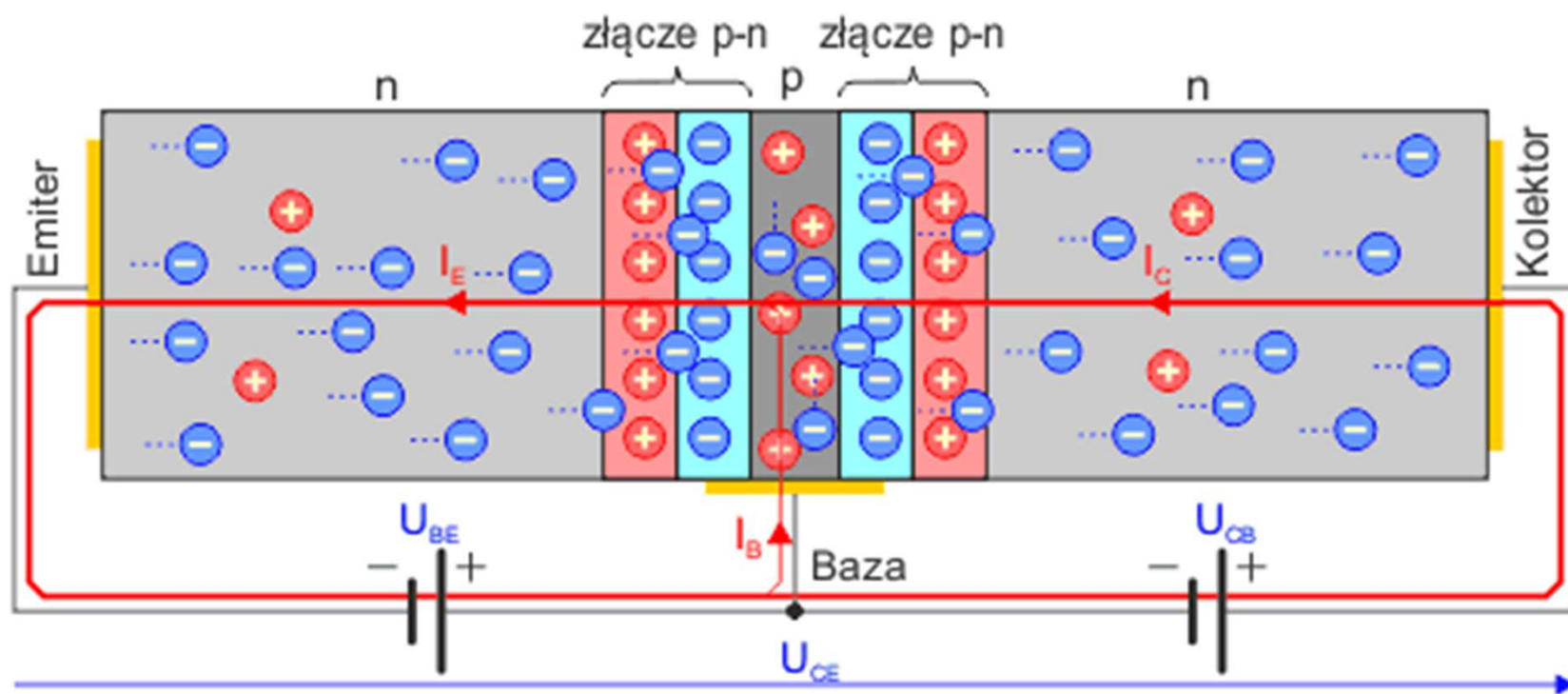
Warstwa bazy w tranzystorze jest bardzo cienka.

Jeśli teraz spolaryzujemy złącze baza-kolektor zaporowo (do kolektora przyłożymy potencjał wyższy od potencjału bazy i oczywiście wyższy od potencjału kolektora), to kolektor zacznie przyciągać ładunki ujemne, które przeszły z półprzewodnika n emitera do półprzewodnika p bazy.

W efekcie w obwodzie kolektor-emiter popłynie dużo większy prąd niż w obwodzie baza-emiter.

Część elektronów z emitera zrekombinuje z dziurami w półprzewodniku bazy, jednakże strata ta nie jest większa niż 1%.

TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

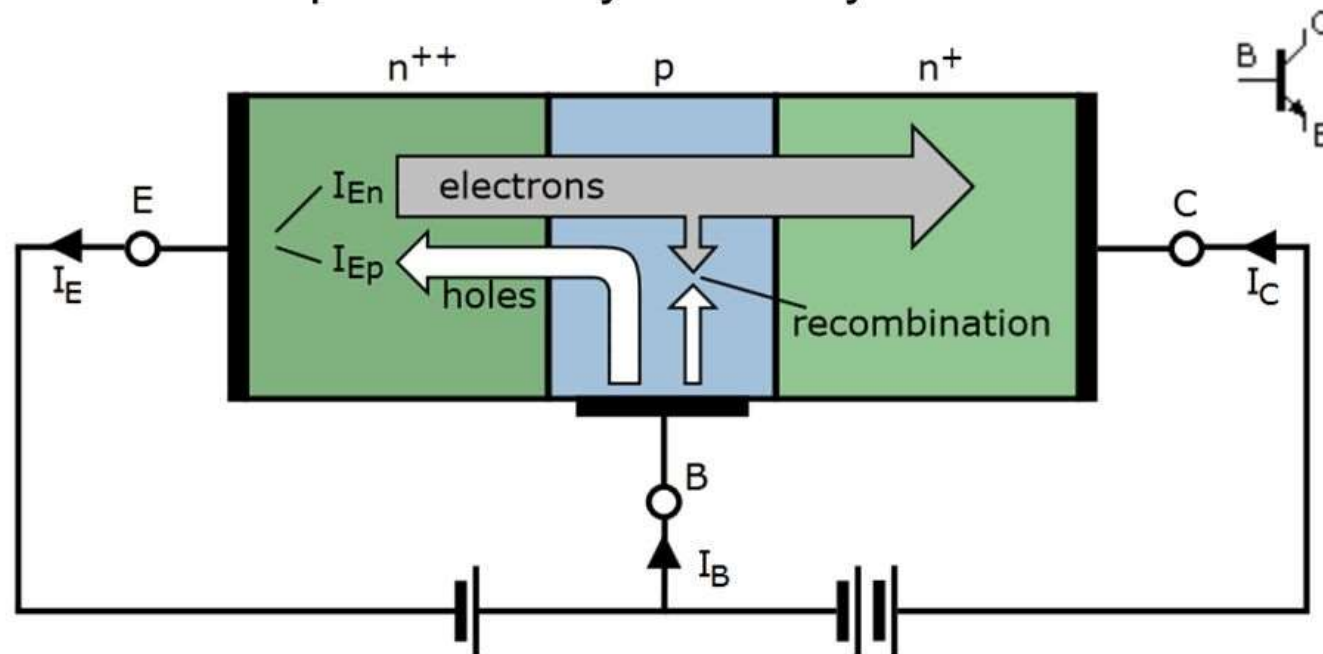


TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

Jak działa tranzystor?



Działanie prześledzimy na tranzystorze NPN



TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA



TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

Prąd bazy I_B jest niewielki.

Prąd kolektora I_C jest z kolei duży.

Małe zmiany prądu bazy wywołują duże zmiany prądu kolektora.

Na tej zasadzie opiera się funkcja wzmacniania sygnałów przez tranzystor.

Współczynnik wzmocnienia prądowego tranzystora (tzw. parametr h_{21E}) wyraża się wzorem:

$$h_{21E} = \beta = \frac{I_C}{I_B}$$

TRANZYSTORY – JAK TO DZIAŁA

Wartość tego współczynnika β zależy od typu tranzystora, wynosi zwykle ponad 100 (czyli przy prądzie bazy 1mA prąd kolektora wyniesie 100mA).

Większość mierników uniwersalnych pozwala na pomiar wzmocnienia prądowego.

Pozostałe wzory, które mogą się przydać, to:

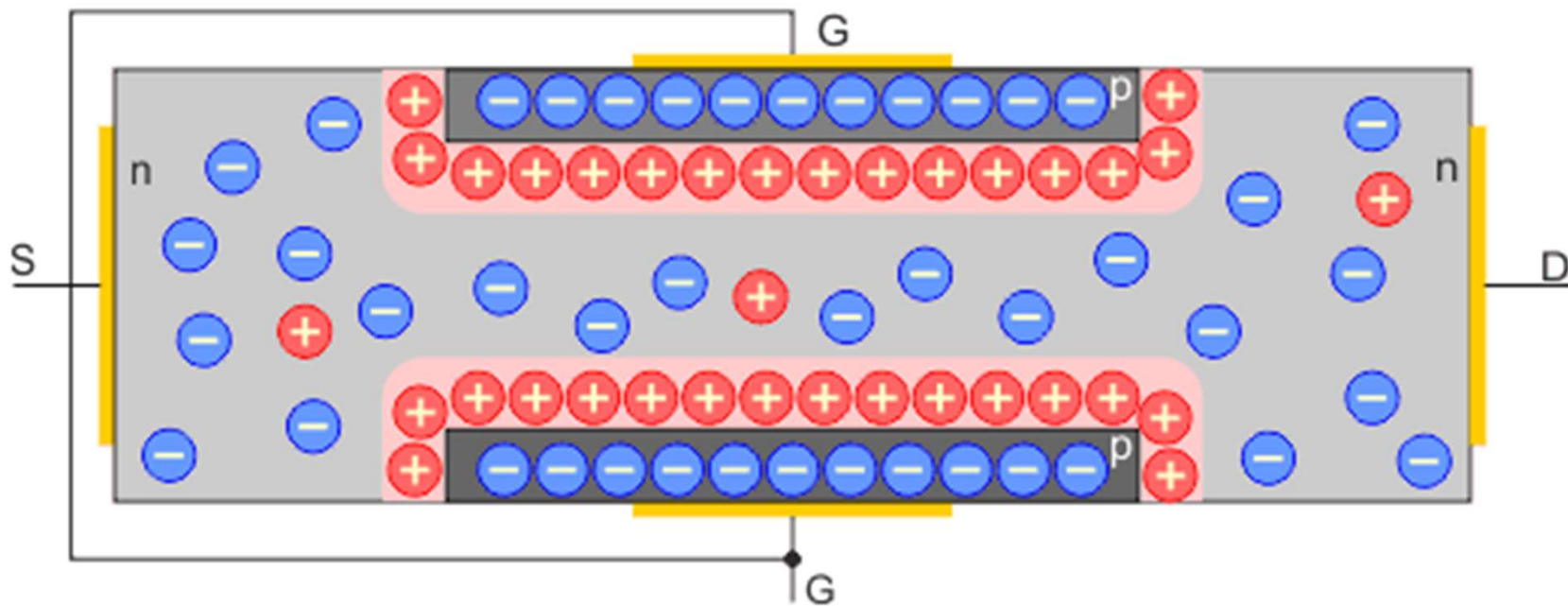
$$I_E = I_C + I_B$$
$$U_{CE} = U_{BE} + U_{CB}$$

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR POLOWY

Tranzystor unipolarny (ang. unipolar transistor), zwany również polowym, jest podstawową cegiełką, z której buduje się współczesną technikę cyfrową.

Zasada działania tranzystora unipolarnego jest nieco inna od zasady działania tranzystora bipolarnego.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Na styku obu warstw półprzewodników tworzy się znane nam złącze p-n.

Dziury z półprzewodnika typu p przenikają do obszarów półprzewodnika typu n leżących przy złączu i powodują rekombinację ładunków większościowych, czyli elektronów.

Powoduje to powstanie przy złączu ładunku dodatniego, który powstrzymuje dalszy przepływ dziur z półprzewodnika typu p.

Podobnie elektrony z półprzewodnika n przedostają się przez złącze i tworzą przy nim ładunek ujemny, rekombinując z obecnymi tam dziurami.

Proces ten prowadzi do powstania bariery potencjału na styku tych dwóch półprzewodników.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

W warstwie podstawowej tworzy się kanał, poprzez który mogą przepływać elektrony (lub dziury dla półprzewodnika p – tego typu tranzystory polowe JFET spotyka się rzadziej).

Do końców tej warstwy podłączone są dwie elektrody, które nazywa się źródłem S (ang. source) i drenem D (ang. Drain).

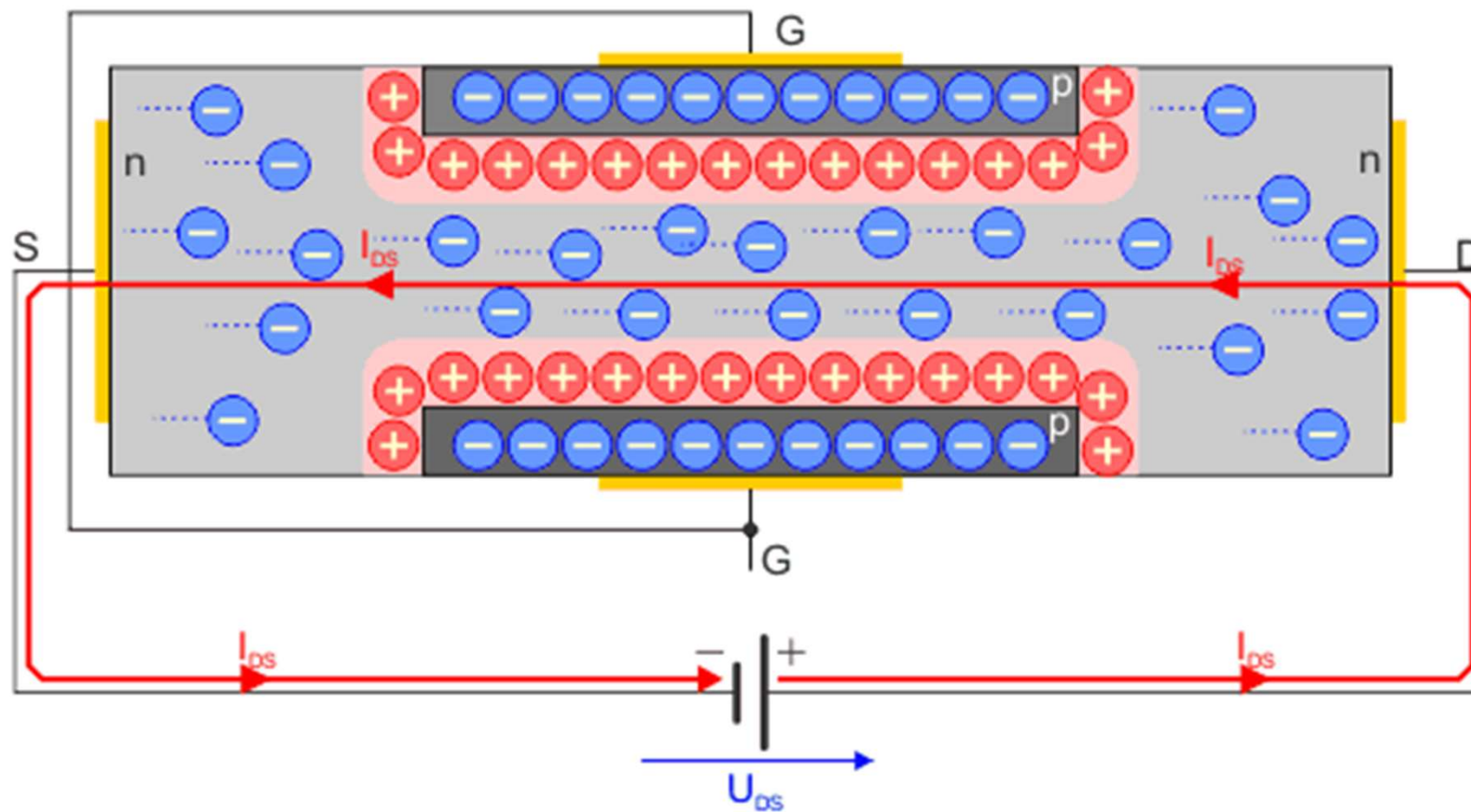
Trzecia elektroda, zwana bramką G (ang. Gate), podłączona jest do drugiej warstwy półprzewodnika.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Jeśli do źródła S i drenu D przyłożymy napięcie U_{DS} , to popłynie prąd elektryczny I_{DS} .

W takiej konfiguracji nie ma znaczenia polaryzacja tego napięcia – tranzystor JFET przewodzi w obu kierunkach na linii S-D.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Jeśli jednak złącze G - S spolaryzujemy ujemnie, tzn. do bramki G przyłożymy niższy potencjał od potencjału źródła S , to złącze p - n zostanie spolaryzowane zaporowo.

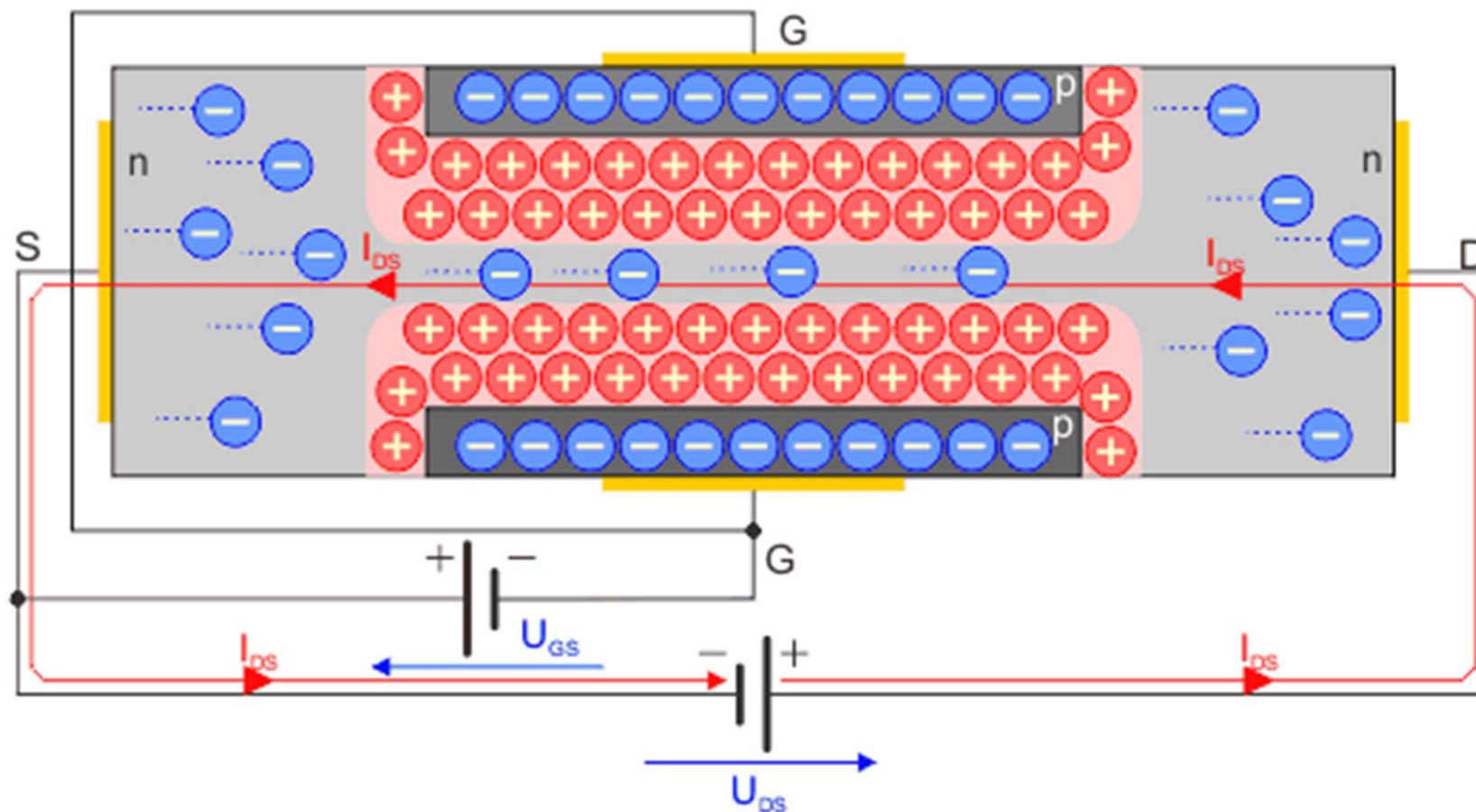
Bariera potencjału wzrośnie oraz powiększy się obszar ładunku przestrzennego, ponieważ nośniki większościowe odpłyną w kierunku elektrod.

Obszar tego ładunku jest jałowy, pozbawiony nośników większościowych.

W efekcie przekrój czynny kanału zmniejsza się, co powoduje wzrost oporności pomiędzy źródłem S a drenem D .

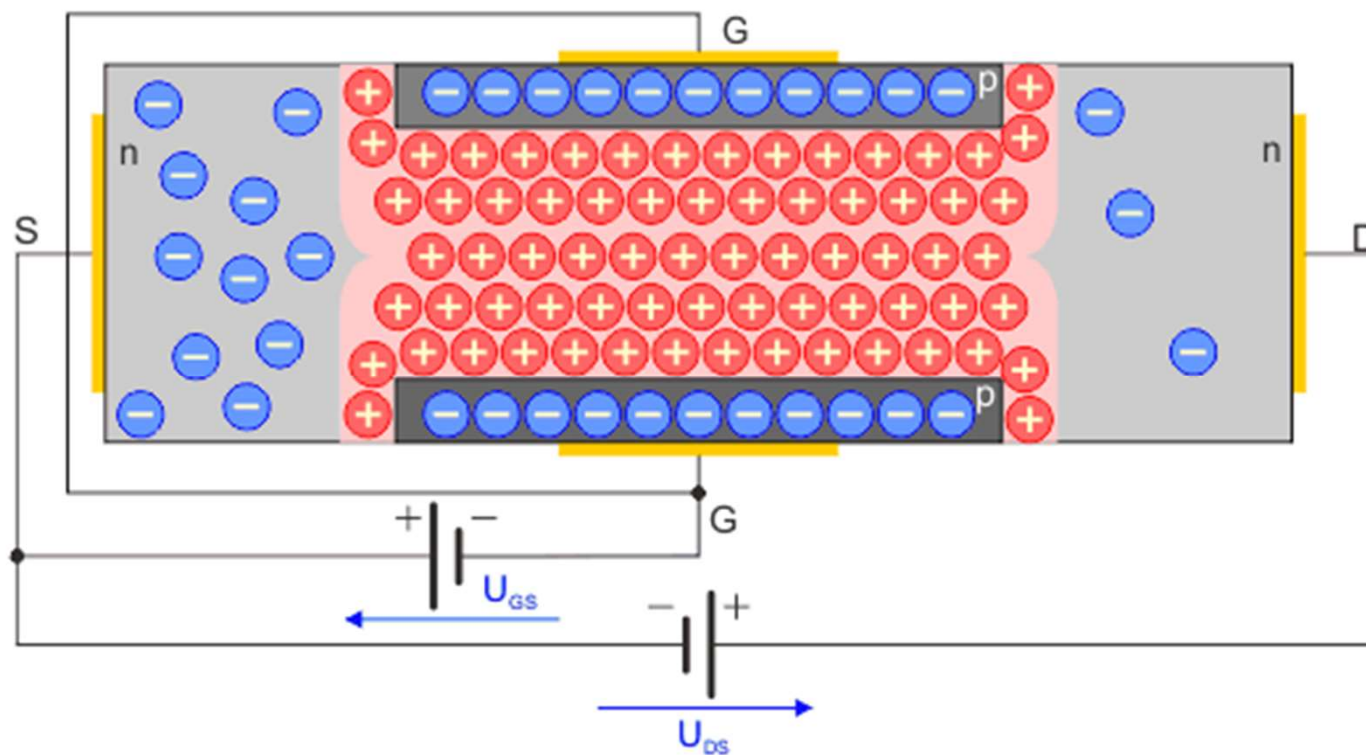
Prąd I_{DS} maleje.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Przy pewnym napięciu U_{GS} obszar ładunku przestrzennego obejmuje cały przekrój czynny półprzewodnika typu n i kanał zostaje zamknięty. Prąd I_{DS} przestaje płynąć. Prąd I_{DS} maleje.



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Wynika z tego, że tranzystor JFET działa jak zawór, a regulatorem przepływu jest ujemne napięcie na bramce G.

Ponieważ w trakcie pracy złącze G-S spolaryzowane jest zaporowo (przy polaryzacji w kierunku przewodzenia tranzystor JFET traci swoje właściwości), to w obwodzie bramki tranzystora polowego prąd praktycznie nie płynie.

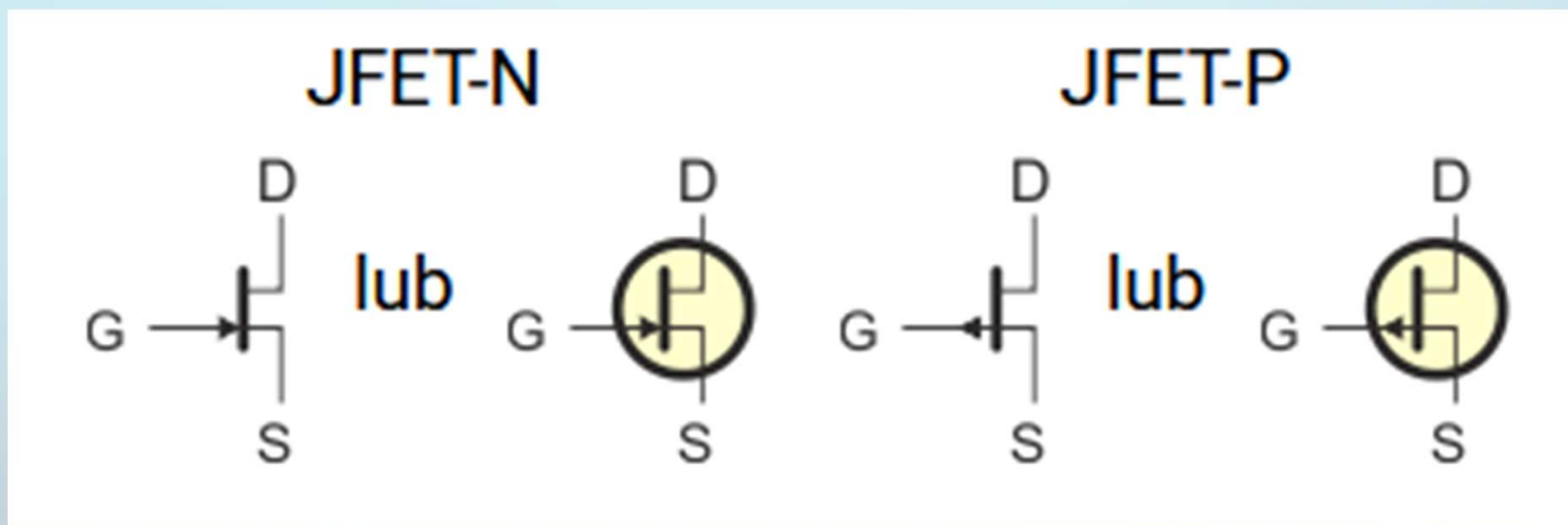
Oporność wejściowa ma wartość kilku megaomów.

Sterowanie odbywa się za pomocą ujemnego napięcia U_{GS} .

Dla tranzystorów JFET z kanałem typu p polaryzacje napięć są odwrotne.

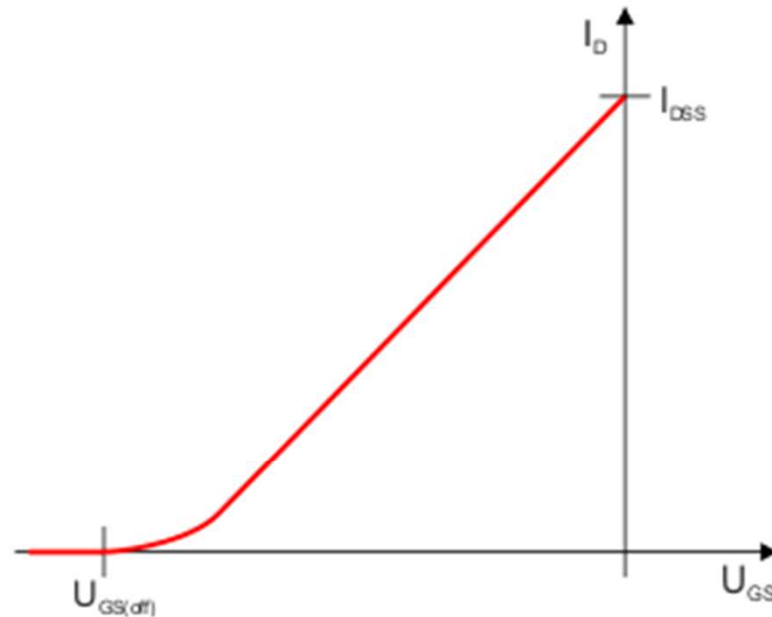
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Na schematach elektrycznych tranzystory JFET oznaczają się następująco:



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Charakterystyka prądowo-napięciowa tranzystora N JFET wygląda tak:



I_D – prąd drenu

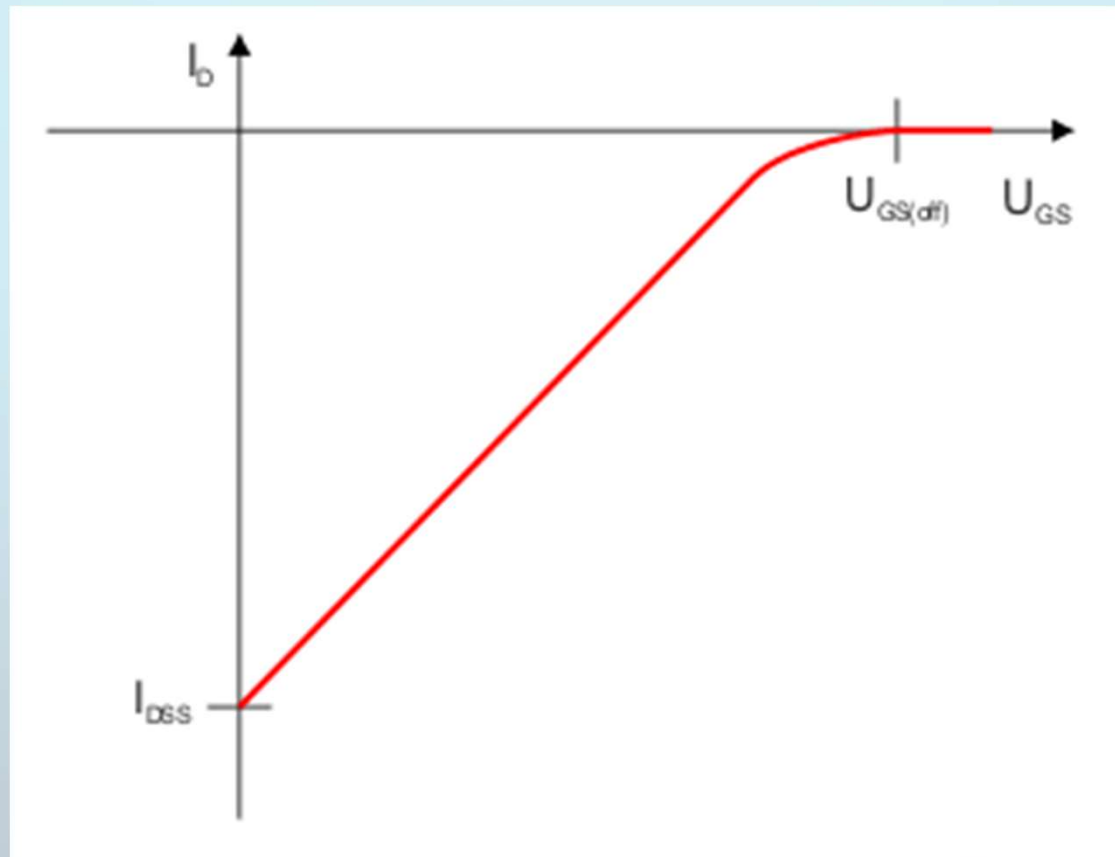
I_{DSS} – prąd nasycenia dren-źródło

U_{GS} – napięcie bramka-źródło

$U_{GS(off)}$ – napięcie odcięcia bramka-źródło

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR JFET

Charakterystyka prądowo-napięciowa tranzystora P JFET jest odwrócona:



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Tranzystor MOSFET (ang. **Metal-Oxide Semiconductor Field-Effect Transistor**) jest zwany również tranzystorem polowym z izolowaną bramką.

Zbudowany jest inaczej niż tranzystor JFET i posiada inne parametry.

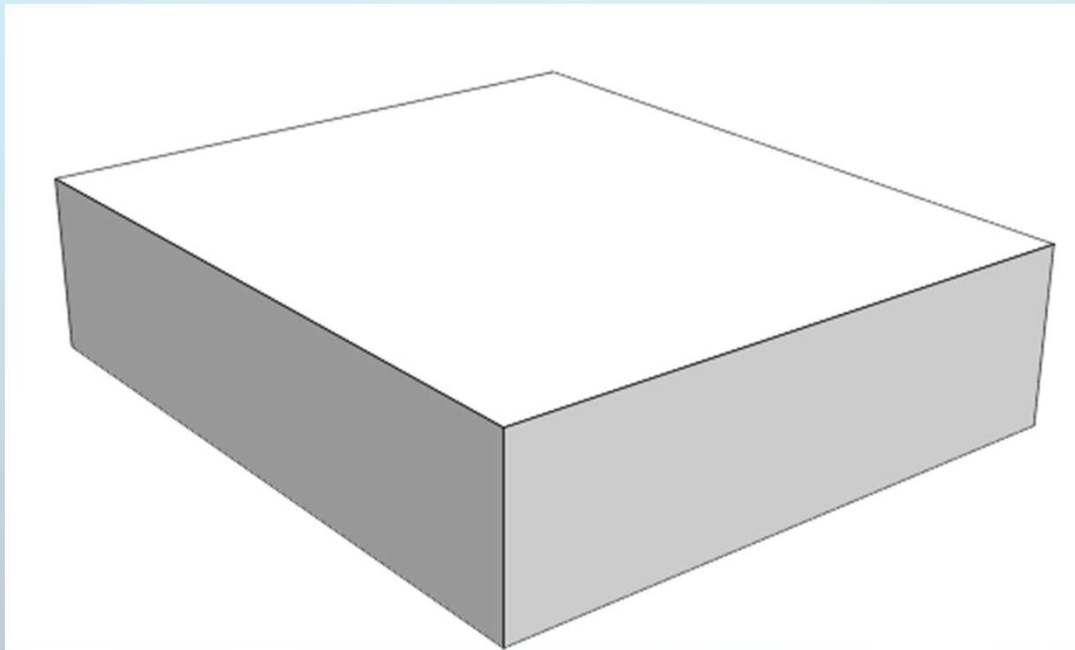
Dzisiaj jest to najpowszechniej stosowany tranzystor polowy.

Znajdziemy go praktycznie w każdym urządzeniu cyfrowym: w komputerach, telefonach, pamięciach, itp.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

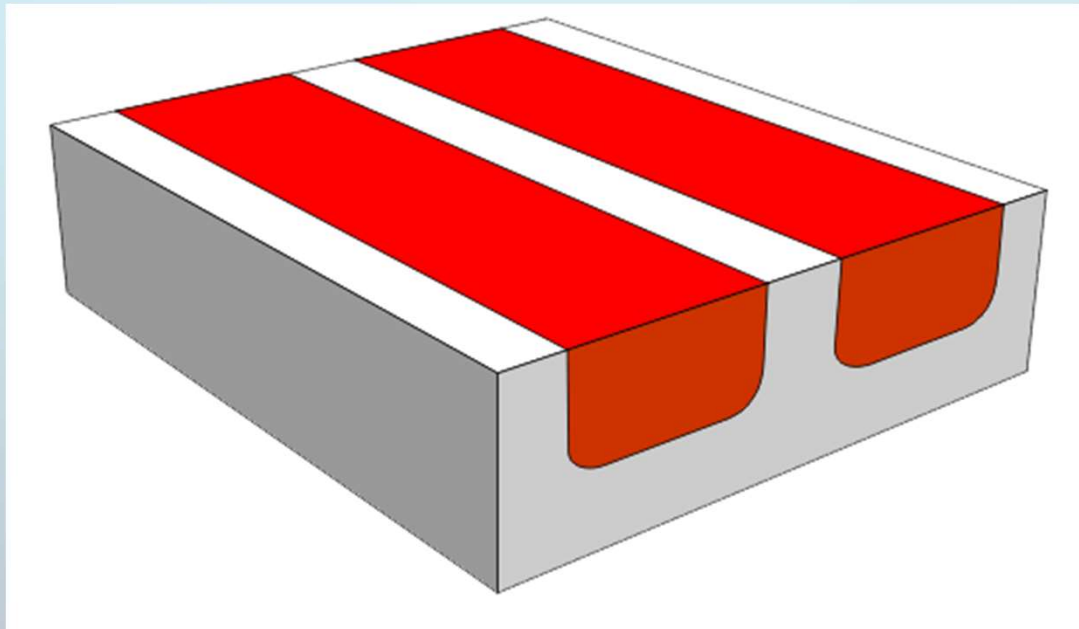
Poniżej przedstawione będą kolejne etapy powstawania tranzystora MOSFET.

Materiałem wyjściowym jest półprzewodnik typu p (istnieją również wersje z półprzewodnikiem typu n).



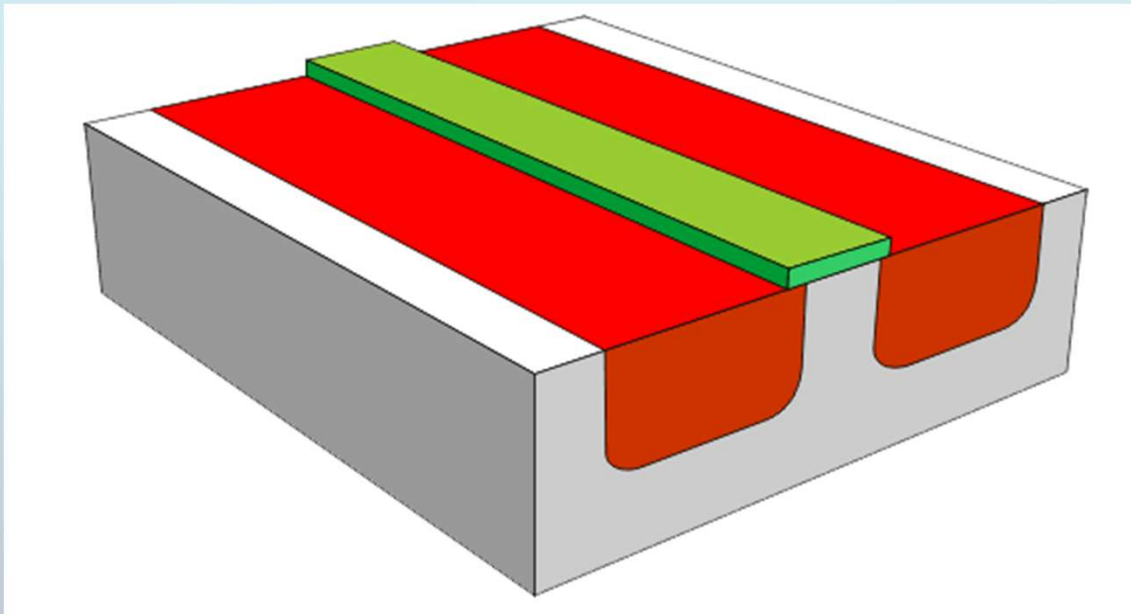
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

W materiale półprzewodnika typu p zostają wytworzone dwa obszary półprzewodnika typu n z silnym domieszkowaniem. Obszary te posiadają swobodne elektrony, które mogą się poruszać.



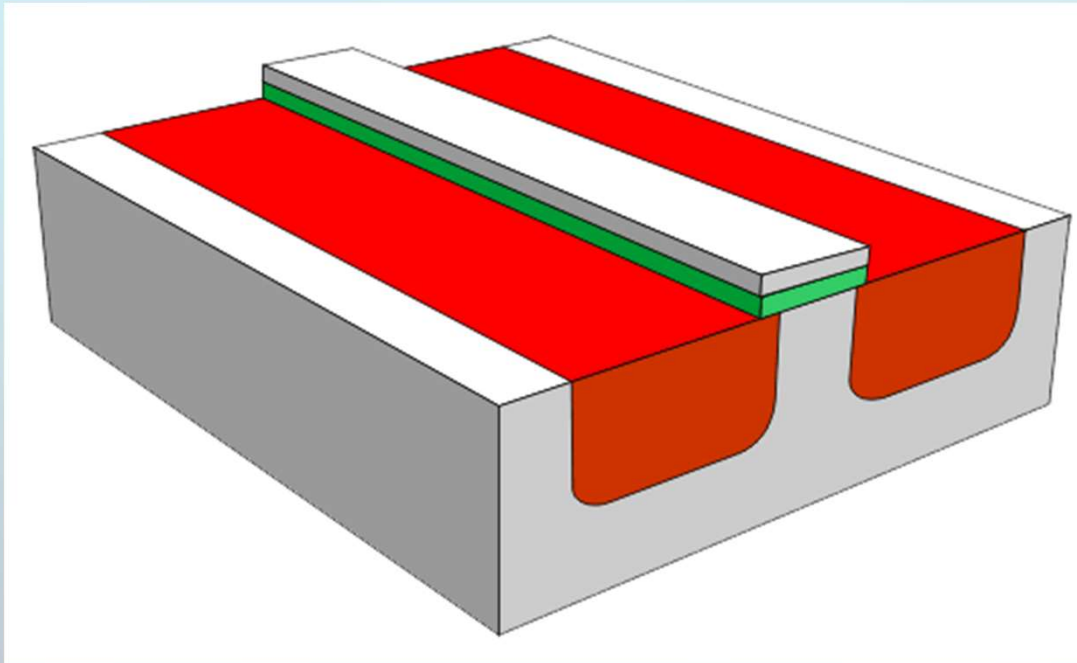
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Pomiędzy obszarami typu n zostaje dodana warstwa izolacyjna z dwutlenku krzemu.



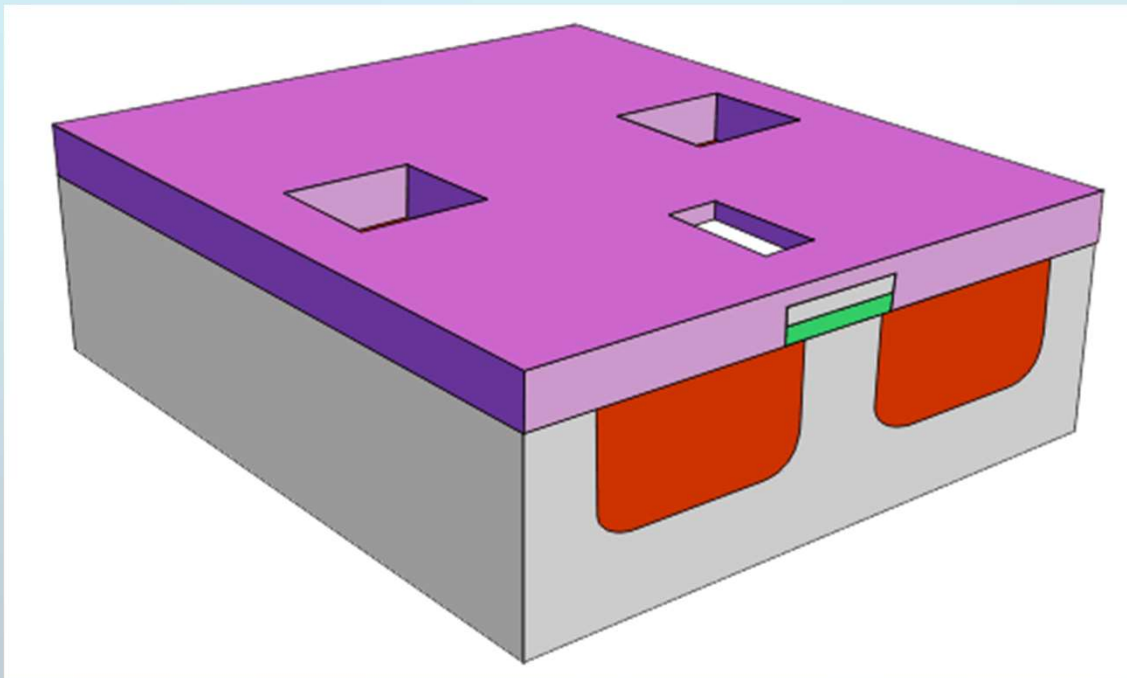
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Pomiędzy obszarami typu n zostaje dodana warstwa izolacyjna z dwutlenku krzemu.



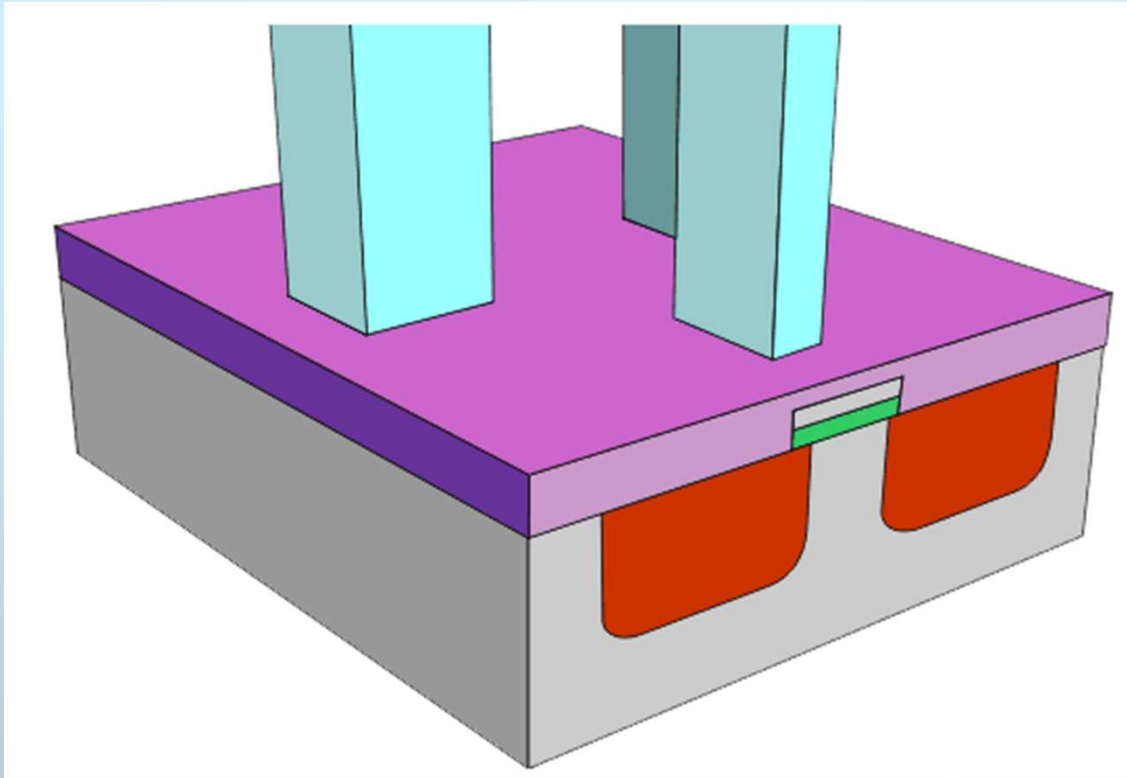
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Na koniec na całość zostaje nałożona warstwa izolacyjna z otworami na elektrody.



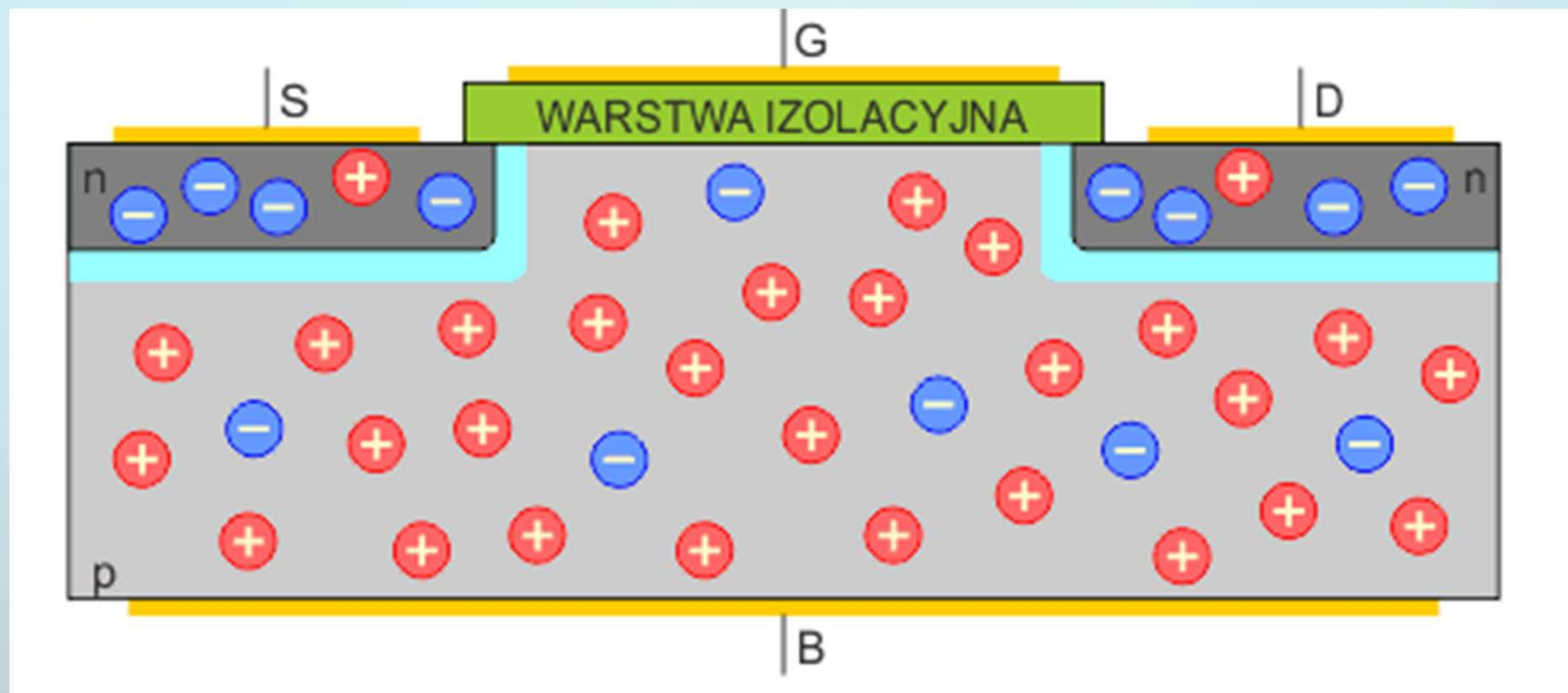
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

W otworach zostają umieszczone metalowe elektrody. Tranzystor MOSFET jest gotowy (wystarczy umieścić go w odpowiedniej obudowie):



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Teraz przejdźmy do zasady działania takiego tranzystora.



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Tranzystor MOSFET posiada cztery elektrody:

1. **Źródło S** (ang. Source)
2. **Bramkę G** (ang. Gate)
3. **Dren D** (ang. Drain)
4. **Podłoże B** (ang. Bulk)

Podłoże B jest zwykle wewnętrznie połączone ze źródłem S, dlatego na zewnątrz wyprowadzone są tylko trzy elektrody: S, G i D.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Zasada działania tranzystora MOSFET opiera się na sterowaniu przepływem prądu od źródła **S** do drenu **D** za pomocą bramki **G**.

Jeśli do bramki **G** nie jest przyłożone żadne napięcie, to prąd nie będzie płynął pomiędzy **S** i **D**, ponieważ między tymi elektrodami nie ma swobodnych nośników ładunku.

Na styku półprzewodników typu p i typu n tworzą się dwa złącza p-n, z których jedno jest zawsze spolaryzowane zaporowo bez względu na zwrot napięcia przyłożonego do **S** i **D**.

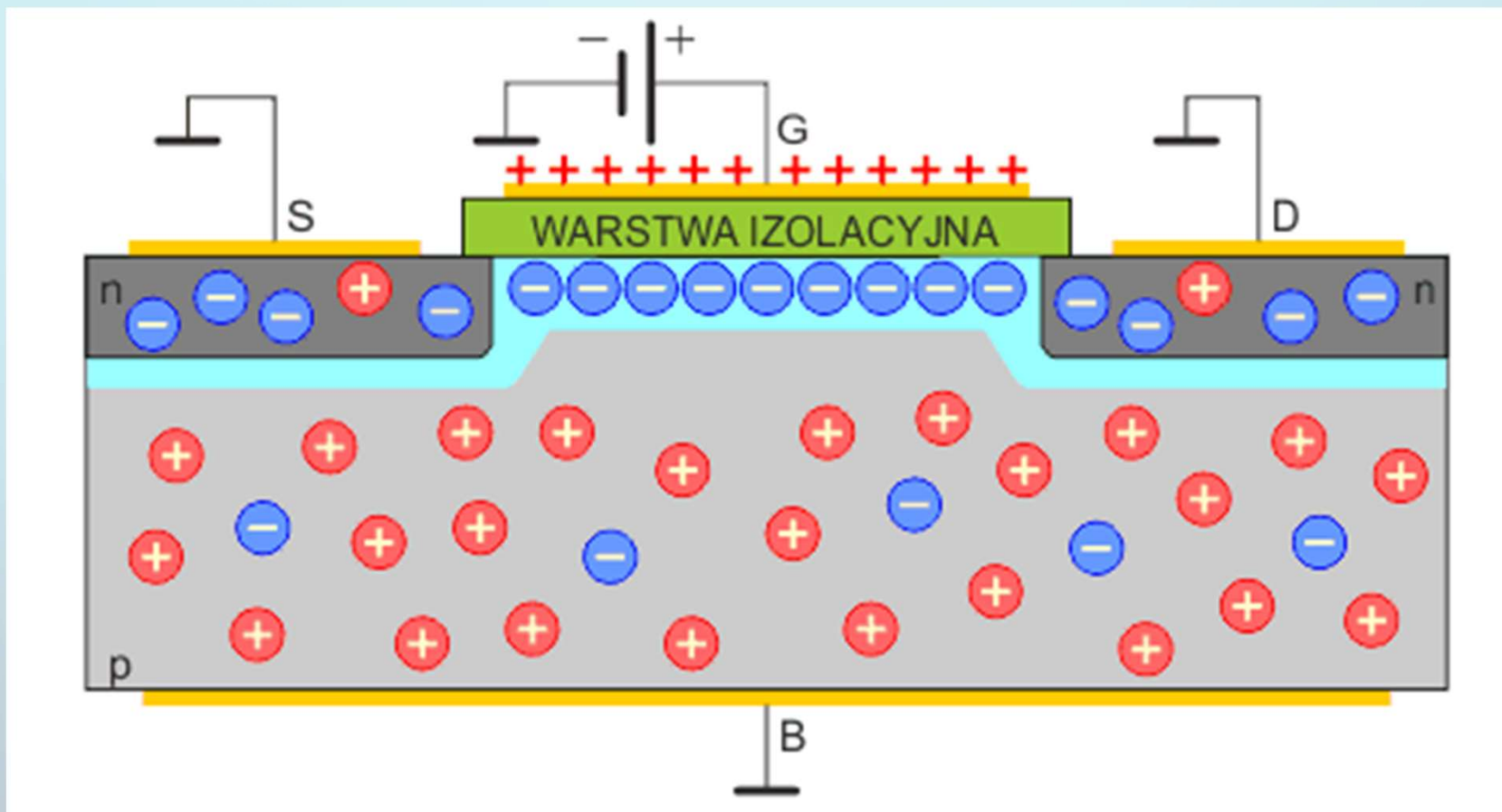
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Jeśli jednak przyłożymy do bramki **G** napięcie dodatnie w stosunku do **S** i **B**, to spowoduje ono przyciągnięcie elektronów z półprzewodnika typu p i jednocześnie odepchnięcie dziur.

Ponieważ bramka **G** jest izolowana od półprzewodnika typu p, to nie popłynie tutaj praktycznie żaden prąd.

Wszystko odbywa się na zasadzie oddziaływań elektrostatycznych.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET



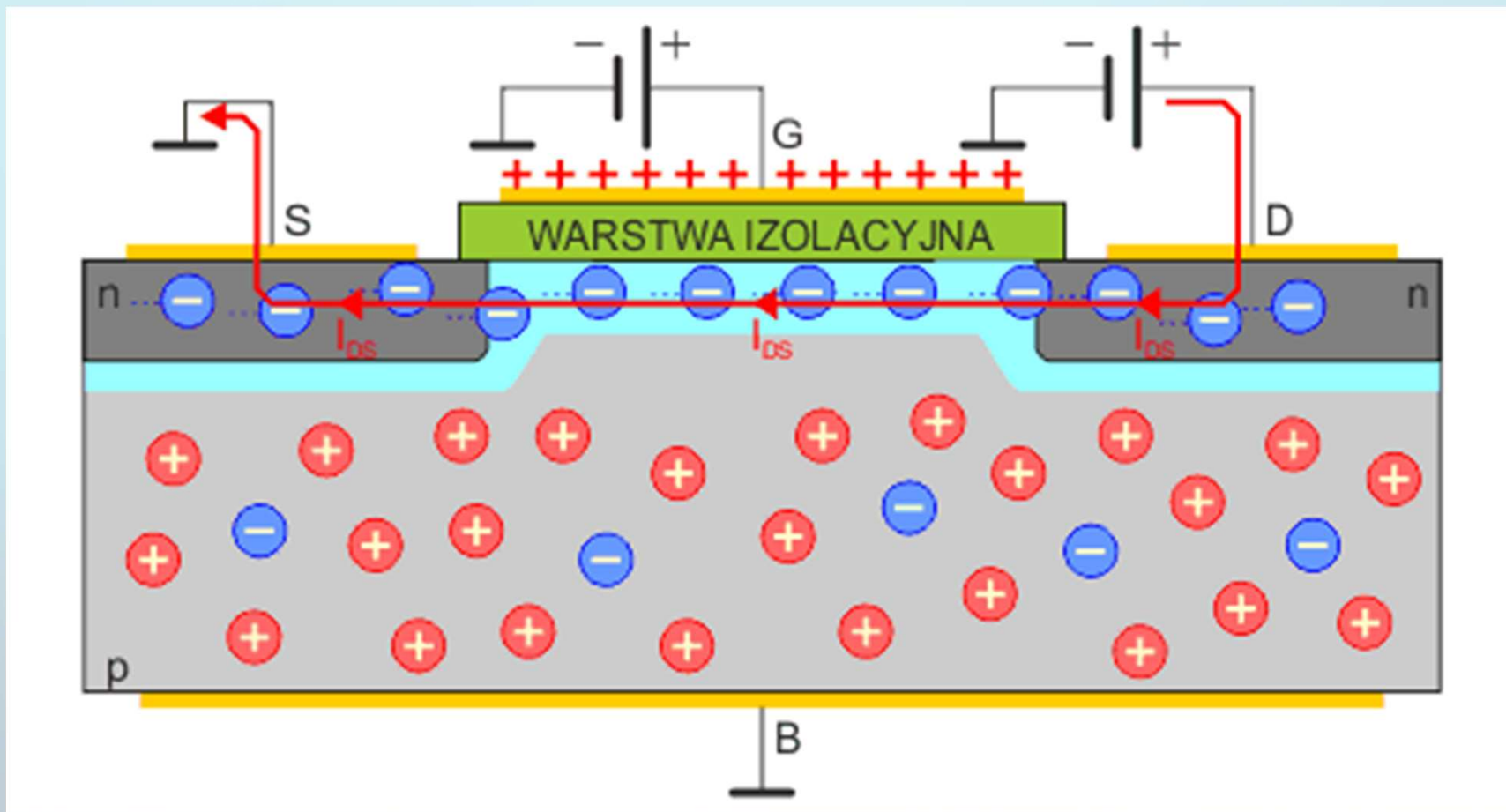
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Powstanie w ten sposób kanał n , który umożliwi przepływ elektronom ze źródła **S** do drenu **D**.

Zwiększając napięcie bramki wpływamy na szerokość tego kanału, a to z kolei ma wpływ na oporność linii **S-D**.

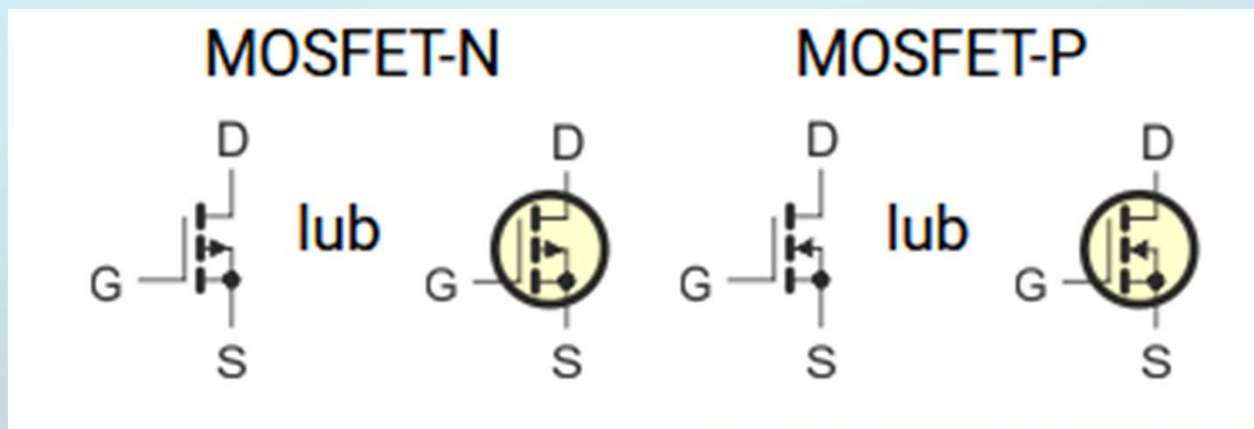
Im kanał szerszy, tym ma mniejszą oporność.

TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET



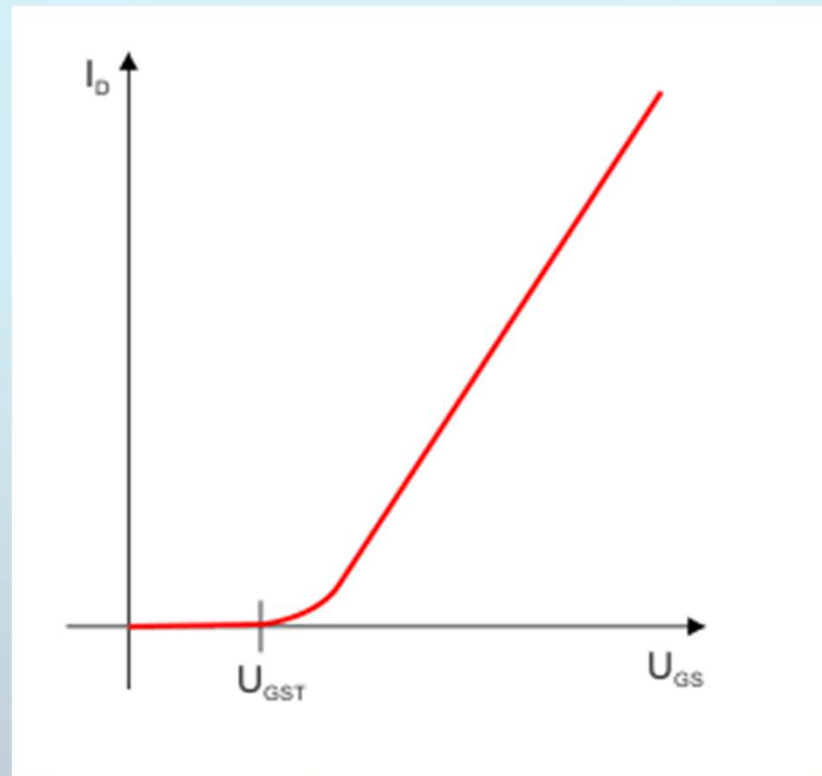
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Na schematach elektrycznych stosuje się następujące oznaczenia dla tranzystorów MOSFET:



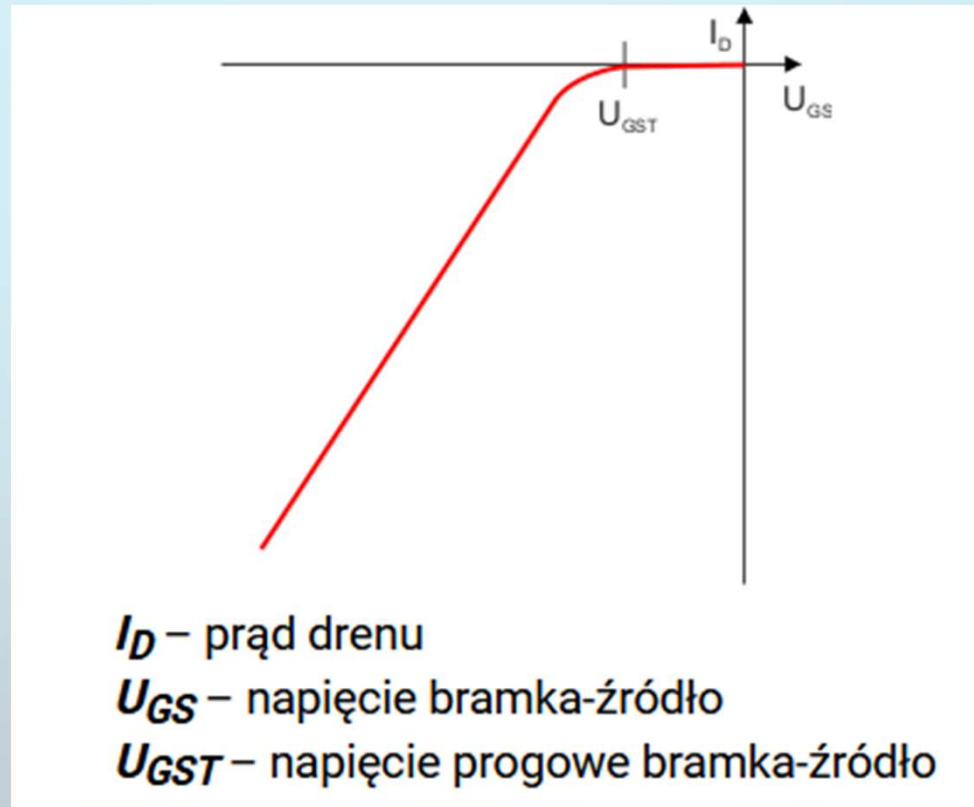
TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Charakterystyka prądowo-napięciowa dla tranzystora MOSFET-N jest następująca:



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

Charakterystyka prądowo-napięciowa dla tranzystora MOSFET-P jest następująca:



TRANZYSTORY – TRANZYSTOR MOSFET

